

DOI 10.35694/YARCX.2021.53.1.014



**Силовой трансформатор, резервное питание электросетей, четырёхпроводные сети, полнофазное напряжение, обрыв одной из питающих фаз**

*Power transformer, reserve power supply of main power, four-wire networks, full-phase voltage, breakage of one of the supply phases*

## УСТРОЙСТВО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЛНОФАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ЧЕТЫРЁХПРОВОДНОЙ СЕТИ 0,4/0,23 кВ ПРИ ОБРЫВЕ ОДНОЙ ИЗ ПИТАЮЩИХ ФАЗ 6(10) кВ ТРАНСФОРМАТОРА

П. С. Орлов (фото)

д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой электрификации

О. Н. Круду

аспирант инженерного факультета

ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, г. Ярославль

На современном этапе развития технологий ключевое место занимает производственная сфера сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности агропромышленного комплекса. Предприятия модернизируются, переходя на новые, энергосберегающие технологии, автоматизируются производственные процессы и совершенствуются механизмы. Подвергаются пересмотру традиционные подходы к переработке и хранению сельскохозяйственной продукции в местах её производства. Этим предъются всё более жёсткие требования к развитию сельской электроэнергетики, к организации её инженерно-технического обеспечения. Дальнейшее совершенствование производственной сферы АПК возможно только при условии модернизации материально-технической базы предприятий на основе повышения надёжности электроэнергетики.

Широкое внедрение новых технологий в сельскохозяйственное производство способствует рациональному размещению сельскохозяйственных предприятий, позволяет наиболее полно привлекать естественные природные ресурсы страны, обеспечивать высокие темпы расширенного производства.

Электрификация – производство, распределение и применение электроэнергии – основа устойчивого функционирования и развития всех отраслей промышленности и сельского хозяйства страны, комфортного быта населения. Сельская электроэнергетика представляет собой важную часть агропромышленного комплекса и служит для удовлетворения энергетических нужд производственной и социально-бытовой сфер [1].

Передача электрической энергии сельскохозяйственным потребителям традиционно осуществляется маломощными и длинными воздушными линиями электропередач от централизованных источников электрической энергии. Подобная система обладает рядом недостатков – высокой стоимостью, большими эксплуатационными издержками, низкой надёжностью, длительным временем восстановления после возникновения аварийной ситуации. Опре-

деляющим фактором электроснабжения в целом является недофинансирование реконструкции и ремонта линий электроснабжения. Износ ЛЭП растёт, приближаясь к 80%, увеличивается количество аварийных отключений, снижается надёжность линий электропередач и электроснабжения (числовые характеристики показателей надёжности ВЛ 6, 10 кВ определены по данным аварийных отключений электрических сетей). Наиболее частым видом повреждений в сетях являются однофазные замыкания на землю, нередко приводящие к серьёзным авариям и создающие повышенную опасность для людей и животных. Показатель аварийности ВЛ 10 кВ в расчёте на 100 км линий составляет 6–7 аварий в год для районов с умеренным климатом и 20–30 аварий в год – для районов со сложными климатическими условиями [2].

За первые 30 минут после аварии устраняется до 19% всех аварий, за 6 часов устраняется 56,5% отключений, 23,5% отказов устраняется за время от 6 до 24 часов, 0,89% аварий устраняется за время более суток, при среднем времени устранения аварии от 3,1 до 4,1 часа. 18% всех отключений происходит из-за атмосферных осадков и ветра, 13% – от обрывов проводов, вследствие грозных перекрытий, от повреждения оборудования и разрушения изоляторов – по 12%, причина 14% отключений не установлена. Наиболее эффективные способы борьбы с отключениями – усиление изоляции линий и распределительных устройств трансформаторных подстанций, плавка гололёда на проводах линий 6, 10 и 35 кВ [3].

Неудовлетворительное состояние электрических сетей систем сельского электроснабжения создаёт предпосылки возникновения аварийных режимов работы, сокращающих срок службы электродвигателей. Наиболее распространённая причина повреждения трёхфазных электродвигателей – асимметрия питающего напряжения и обрыв фазы. Для защиты трёхфазных электродвигателей от асимметрии питающего напряжения предлагается классический фильтр нулевой последовательности, работающий в релейном режиме и отключающий при пропадании фазы электродвигатель [4].

Недостатки имеются и у существующей системы электроснабжения:

1. Для включения резервного питания электроприёмников второй категории может понадобиться выезд оперативной бригады, снижающий оперативность восстановления электроснабжения и увеличивающий простои механизмов.

2. Длительность восстановления электроснабжения электроприёмников третьей категории нарушает нормальную деятельность потребителей электрической энергии.

### **Методика исследования**

Задача авторов – создание устройства, способного восстановить полнофазное напряжение в четырёхпроводной сети 0,4/0,23 кВ, обеспечивая надёжность электроснабжения потребителя. Наиболее близким к предлагаемому изобретению является устройство восстановления напряжения фазы в четырёхпроводной сети [5], требующее дроссель и конденсатор в каждой фазе и работающее в узком диапазоне мощности.

Силовой трансформатор представляет собой статическую аналоговую саморегулируемую электрическую машину, имеющую две или более индуктивно связанных обмоток на ферромагнитном магнитопроводе, предназначенных для передачи мощности от 0 до полутора кратного значения номинальной мощности, преобразованной посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем (напряжений) переменного тока в одну или несколько других систем (напряжений) [6].

Так как трансформатор, в силу обратимости электрических машин и неразрывности магнитных потоков, позволяет, как и все электрические машины, восстановить трёхфазное напряжение, даже если произошёл обрыв линии электропередачи напряжением 6(10) кВ, то он может бесперебойно осуществлять электроснабжение в течение 4...6 часов (достаточных для восстановления штатного полнофазного напряжения).

Модельный масштабный эксперимент показал: первичная обмотка трансформатора при обрыве одной питающей фазы генерирует двумя оставшимися запитанными фазами в обесточенной фазе напряжение, отличающееся от запитанных фаз не более чем на 5%, что является допустимым и может быть парировано дополнительными витками обмотки.

### **Результаты исследования**

Поставленная авторами задача достигается устройством восстановления полнофазного напряжения в четырёхпроводной сети 0,4/0,23 кВ при обрыве одной из питающих фаз 6(10) кВ трансформатора, содержащее зажимы сети А, В, С, три реле контроля напряжения (1, 2 и 3), группу нормально замкнутых контактов, содержащую три нормально замкнутых контакта указанных реле

и выходные клеммы, при этом зажимы сети А, В, С подключены к источнику переменного тока, каждое из реле контроля напряжения включено между зажимом сети соответствующей фазы и нулевым проводом, отличающееся тем, что нормально замкнутые контакты реле контроля напряжения фаз (на рис. 1 условно не показаны) управляют выключателями нагрузки 4, 5 и 6, включёнными в рассечку соответствующих фаз, первые выводы которых подключены к зажимам сети А, В, С, а вторые выводы – к соответствующему зажиму первичной обмотки силового трансформатора Т, включенных по схеме «звезда с нулём – звезда с нулём». Каждая фаза вторичной обмотки силового трансформатора имеет независимые от основной обмотки витки (на рис. 1 условно не показаны), предназначенные для компенсации падения напряжения на линии при возможной несимметрии нагрузки.

Отсюда:

1) устройство восстановления полнофазного напряжения в четырёхпроводной сети 0,4/0,23 кВ позволяет восстанавливать питающее напряжение при обрыве любой одной из питающих фаз напряжением 6(10) кВ трансформатора с сохранением последовательности следования фаз;

2) автоматическое отключение повреждённого провода сети 6(10) кВ исключает возможную перегрузку и выход из строя трансформатора с обесточенной фазой;

3) автоматическое отключение повреждённого провода высоковольтной сети позволяет трёхфазному трансформатору, запитанному от

четырёхпроводной сети, восстановить напряжение отключённой фазы в своей вторичной обмотке;

4) восстановление обмотками трёхфазного трансформатора, запитанного от четырёхпроводной сети напряжения на отключенной фазе, восстанавливает электроснабжение потребителя до устранения неисправности, исключая перерыв электроснабжения потребителей;

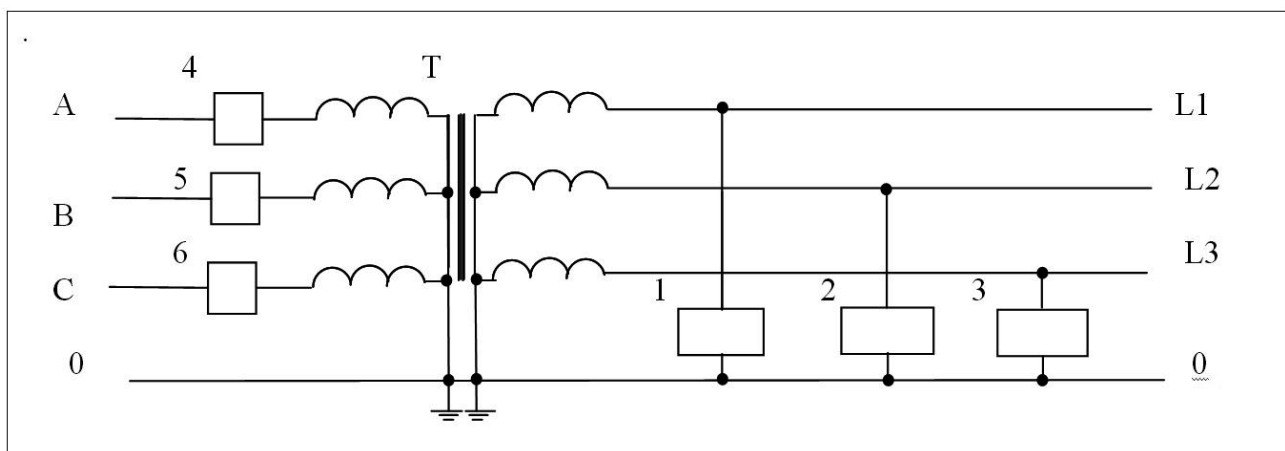
5) каждая фаза вторичной обмотки силового трансформатора имеет независимые от основной обмотки витки, предназначенные для компенсации возможной несимметрии напряжений по фазам;

6) упрощение схемы автоматического управления восстановлению питающего напряжения и исключение конденсаторов повышает надёжность и безопасность устройства при его эксплуатации.

Перечисленные новые существенные признаки в совокупности с известными обеспечивают получение технического результата во всех случаях, на которые распространяется испрашиваемый объём правовой охраны.

### Выводы

Технический результат изобретения [7] заключается в следующем: устройство восстановления полнофазного напряжения в четырёхпроводной сети 0,4/0,23 кВ при обрыве одной из питающих фаз трансформатора напряжением 6(10) кВ обеспечивает повышение надёжности электроснабжения потребителей, безопасность



1; 2; 3 – реле контроля напряжения фаз L1, L2, L3 вторичной обмотки трансформатора Т, включённые между фазным L1, L2, L3 и нулевым проводом 0;

4; 5; 6 – выключатели нагрузки фаз А, В, С силового трансформатора Т.

Рисунок 1 – Устройство восстановления полнофазного напряжения

его эксплуатации и снижет электротравматизм в электроустановках. Это достигается использованием уникальных свойств аналоговых устройств – трёхфазных электрических сетей и трёхфазных силовых трансформаторов, с первичной и вторичной обмотками, включёнными по схеме «звезда с нулём – звезда с нулём», запитанных от четырёхпроводной сети. При утрате питания от любого одного из четырёх питающих проводов, за счёт неразрывности магнитных потоков и обратимости электрических машин, устройство автоматически (после физического отключения утраченной фазы) восстанавливает полнофазное напряжение в первичной и во вторичной обмотках трансформатора сложением магнитных потоков, генерируемых первичными обмотками,

питающимися от оставшихся двухфазных проводов в обесточенной обмотке трансформатора с сохранением порядка следования фаз, распределяя трёхфазную нагрузку симметрично по двум оставшимся фазам с превышением нагрузки по двум оставшимся фазам не более чем на 50%, используя возможность трансформатора и линии в течение 4...5 часов выдерживать перегрузку не более чем на 50%. Это позволяет линии и трансформатору функционировать, обеспечивая электроснабжение потребителей, исключая перемены электроснабжения вследствие обрывов одного фазного проводника (или однофазного короткого замыкания на линии после её физического отключения с обеих сторон и от обоих трансформаторов).

### Литература

1. Миндрин, А. С. Энергоемкость сельскохозяйственного производства: теория, методология, оценка / А. С. Миндрин ; Российская академия с.-х. наук, Всероссийский НИИ экономики, труда и упр. в сельском хозяйстве. – Москва : Восход-А, 2009. – 387 с. : ил. – ISBN 978-5-93055-146-4 (в пер.). – Текст : непосредственный.
2. Гавриченко, А. Прогнозирование однофазных замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью как способ повышения их безопасности / А. Гавриченко, В. Чернышов, Г. Федоренков. – Текст : непосредственный // Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве. – 2008. – № 6. – С. 53–56.
3. Корчагин, П. Т. Надежность электроснабжения удаленных потребителей / П. Т. Корчагин, Д. М. Таранов. – Текст : непосредственный // Сельский механизатор. – 2014. – № 3. – С. 28–29. – ISSN 0131-7393.
4. Петько, В. Г. Устройство защиты трехфазного электродвигателя от асимметрии питающего напряжения / В. Г. Петько, А. В. Садчиков. – Текст : непосредственный // Электротехника. – 2003. – № 10. – С. 5–9. – ISSN 0013-5860.
5. Патент № 2340063 Российская Федерация, МПК H02H 7/09 (2006.01), H02J 9/06 (2006.01). Устройство восстановления напряжения фазы в четырехпроводной сети : № 2007144599/09 : заявл. 04.12.2007 : опубликовано 27.11.2008, Бюл. № 33 / Кириллов Н. П., Шабалин Н. Г., Катаржин А. В., Гапанович В. А. ; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого. – 7 с. – Текст : непосредственный.
6. ГОСТ 16110-82. Трансформаторы силовые. Термины и определения : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 4 марта 1982 г. № 940 : дата введения 01.07.82 / разработан Министерством электротехнической промышленности. – Москва, 1986. – 27 с. – URL: <https://docplan.ru/Index/30/30055.htm> (дата обращения: 11.01.2021). – Текст : электронный.
7. Заявка на патент № 2021100104 Российская Федерация от 11.01.2021. Устройство восстановления полнофазного напряжения в 4-х проводной сети 0,4/023 кВ ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия» / Орлов П. С., Шкрабак В. С., Морозов В. В., Шешунова Е. В., Бобков С. А., Крудю О. Н.

### References

1. Mindrin, A. S. Jenergoemkost' sel'skohozjajstvennogo proizvodstva: teorija, metodologija, ocenka / A. S. Mindrin ; Rossijskaja akademija s.-h. nauk, Vserossijskij NII jekonomiki, truda i upr. v sel'skom hoz-ve. – Moskva : Voshod-A, 2009. – 387 s. : il. – ISBN 978-5-93055-146-4 (v per.). – Tekst : neposredstvennyj.
2. Gavrichenko, A. Prognozirovanie odnofaznyh замыканий na zemlju v setjah s izolirovannoj nejtral'ju kak sposob povyshenija ih bezopasnosti / A. Gavrichenko, V. Chernyshov, G. Fedorenkov. – Tekst : neposredstvennyj // Ohrana truda i tehnika bezopasnosti v sel'skom hozjajstve. – 2008. – № 6. – S. 53–56.
3. Korchagin, P. T. Nadezhnost' jelektrosnabzhenija udalennyh potrebitelej / P. T. Korchagin, D. M. Taranov. – Tekst : neposredstvennyj // Sel'skij mehanizator. – 2014. – № 3. – S. 28–29. – ISSN 0131-7393.

4. Pet'ko, V. G. Ustrojstvo zashhity trehfaznogo jelektrovdigatelja ot asimmetrii pitajushhego naprjazhenija / V. G. Pet'ko, A. V. Sadchikov. – Tekst : neposredstvennyj // Jelektrotehnika. – 2003. – № 10. – S. 5–9. – ISSN 0013-5860.

5. Patent № 2340063 Rossijskaja Federacija, MPK H02H 7/09 (2006.01), H02J 9/06 (2006.01). Ustrojstvo vosstanovlenija naprjazhenija fazyv chetyrehprovodnoj seti: №2007144599/09:zajavl.04.12.2007:opublikovano 27.11.2008, Bjul. № 33 / Kirillov N. P., Shabalin N. G., Katarzhin A. V., Gapanovich V. A. ; patentoobladatel' Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija Voennaja akademija Raketnyh vojsk strategicheskogo naznachenija imeni Petra Velikogo. – 7 s. – Tekst : neposredstvennyj.

6. GOST 16110-82. Transformatory silovye. Terminy i opredelenija : mezhgosudarstvennyj standart : utverzhden i vveden v dejstvie Postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta SSSR po standartam ot 4 marta 1982 g. № 940 : data vvedenija 01.07.82 / razrabotan Ministerstvom jelektrotehnicheskoy promyshlennosti. – Moskva, 1986. – 27 s. – URL: <https://docplan.ru/Index/30/30055.htm> (data obrashhenija: 11.01.2021). – Tekst : jelektronnyj.

7. Zajavka na patent № 2021100104 Rossijskaja Federacija ot 11.01.2021. Ustrojstvo vosstanovlenija polnofaznogo naprjazhenija v 4-h provodnoj seti 0,4/0,23 kV; zajavitel' Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovanija «Jaroslavskaia gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija» / Orlov P. S., Shkrabak V. S., Morozov V. V., Sheshunova E. V., Bobkov S. A., Krudu O. N.

